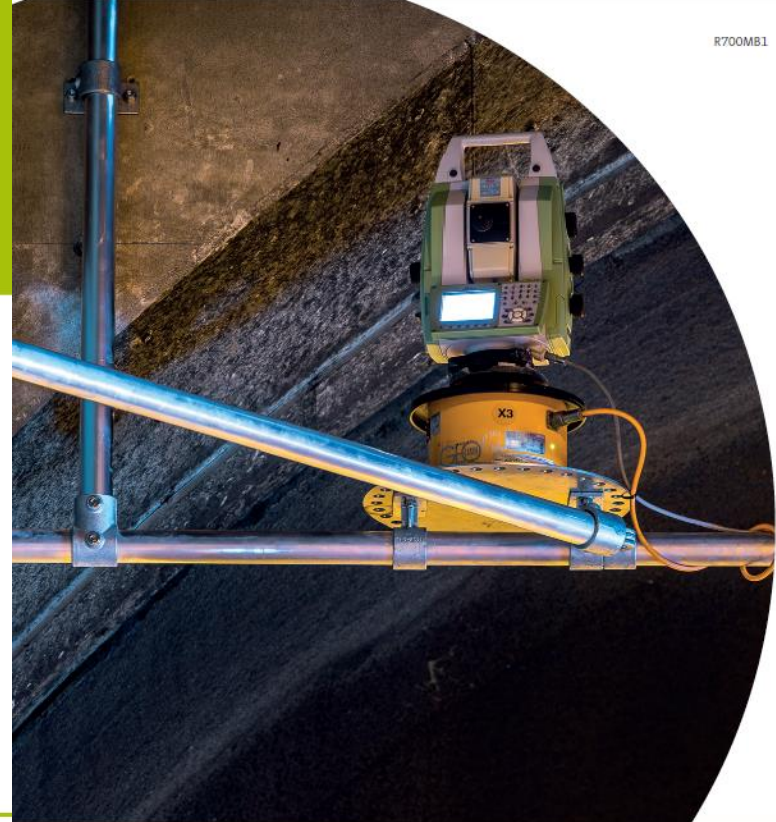




# Werkwijzer monitoring boortunnels

maandag 29 januari 2024



## Werkwijzer monitoring boortunnels

Gids voor het gestructureerd monitoren van  
boortunnels in de bouw- en exploitatiefase



# Inhoud presentatie

1. Inleiding (Arjan van der Put)
2. Problematiek Westerscheldetunnel (Rene Clarisse / Evert Sonke)
3. Kritieke doorsnedes boortunnelconstructie (Joost Vervoort)
4. Monitoringswijze en stappenplan monitoring (Peter Nelemans)
5. Conclusies en aanbevelingen (Arjan van der Put)
6. Vragen

maandag 29 januari 2024



# Aanleiding en doelstelling

## *Aanleiding*

- Werkwijzer monitoring zinktunnels
- Iedere tunnelbeheerder eigen monitoringsysteem

## *Doelstelling*

Het opstellen van een standaard procesaanpak voor het bepalen van het monitoringsysteem voor de civiele constructie van een boortunnel waarmee de tunnelbeheerder de conditiebepaling en het voorspellen van het toekomstige gedrag kan bepalen waardoor onderhoud en renovatie tijdig en onderbouwd kan inplannen.

# Werkgroepsleden

Samenstelling werkgroep

## Auteurs:

Constructie: Joost Vervoort, Arthe Civil & Structure

Monitoringsystemen: Peter Nelemans, Fugro Nederland, Jelle van Ophuizen, Iv-Infra en Reinier Brongers, Stabi Alert

Overall: Robert de Haas, De Haas Inframangement

Reviewers: Wout Broere TU-Delft, Rene Clarisse N.V. Westerscheldetunnel, Jetteke Flick ProRail, Jan Jonker Jonker Infra Consult, John Snoeren gemeente Den Haag

Voorzitter: Arjan van der Put APUT

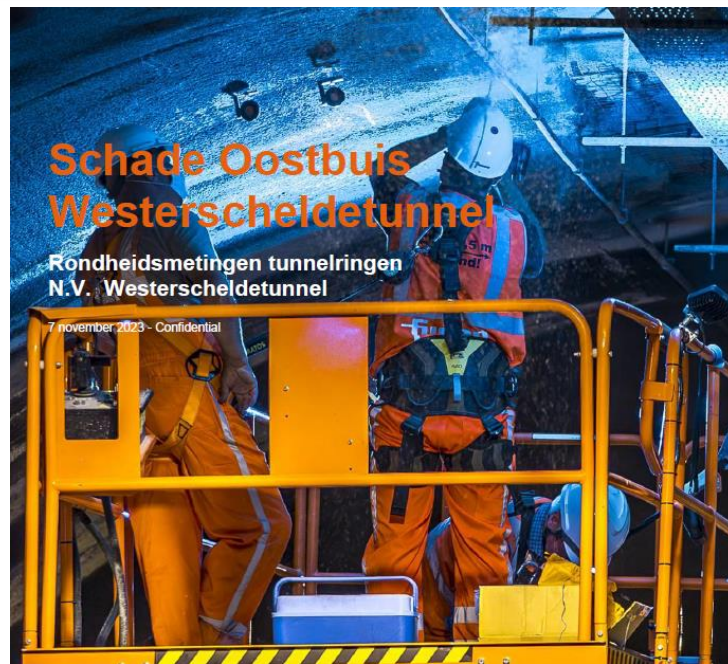
Ondersteuning COB: Brenda Berkhout TEC, Ellen van Eijk, Marije Nieuwenhuizen

maandag 29 januari 2024



# Nut en noodzaak

Tunnel	NEN2767 inspecties	Visuele inspectie	Deformatiemetingen	Tunnelscan/PvR	Dekking op de tunnel	Debietmetingen leliewater
Tweede Hielenaortunnel	-	-	-	-	-	-
Borslekspoor-tunnel	5-jaarlijks	jaarlijks	Gesopt in 2022	2017	-	Moet nog worden ingeregeld
Tunnel Pannerdensch Kanaal	5-jaarlijks	jaarlijks	In 2022 deformatiemeting aangebracht voor aanleg A15.	2015 en 2018 voor het laest	Opdrifanalyse in 2020 uitgevoerd	Moet nog worden ingeregeld
Softspoor-tunnel	5-jaarlijks	jaarlijks	Nee	-	-	Moet nog worden ingeregeld
Stations-tunnel Rotterdam	Onbekend	Onbekend	Onbekend	Onbekend	Onbekend	Onbekend
Hubertus-tunnel*	3-jaarlijks en bij einde onderhoudscontract	Is onderdeel van NEN 2767.	Bij bouwwerkzaamheden binnen het invloedgebied van de tunnel	Navangving van objecten in de tunnelbuizen	Geen schaaftvaart	Nee. In de noortbus, t.p.v. Hubertusduinrjide, minimale lekkage na hevige regenperiode
Westerschelde-tunnel	jaarlijks (met name hitzewerende bekleding)	8-wekelijks (goneriek), jaarlijks macrolog comosie (comosieproces wapening) oostbus	10-jaarlijks	5-jaarlijks	jaarlijks	Wekelijks debietmetingen. Zeer lokaal jaarlijkse meting middels sensoren om lekkage te meten, jaarlijkse meting met warmtebeeldcamera op 16 bekende lekkagelocaties.
Sluis-tunnel	jaarlijks	3-maandelijks	5-jaarlijks	5-jaarlijks		
Noord/Zuidlijn Amsterdam	Q.b.v CUR-117 2-jaarlijkse toestand inspectie	2x per jaar	Continu middels sensoren op twee locaties	PvR metroscan is in het verleden uitgevoerd. Rondom ondergrondse stationswacht jaarlijks een drone inspectie t.b.v. onderzoek Promatrac	Inmeting boven-zijde zinktunnel wordt nog ingericht	Continu middels leliewater sensoren in het tunneltracé. Bij de tunnelmonden (noord en zuid) worden ook debietmeters toegepast.
Vicorie Boogwoude tunnel	3-jaarlijks en bij einde onderhoudscontract	Is onderdeel van NEN 2767.	Bij bouwwerkzaamheden binnen invloedgebied van de tunnel	Navangving van objecten in de tunnelbuizen	Dekking 11 m. Bodembescherming aangebracht. Controle bodemdrukke 5-jaarlijks**	Nee. Geen lekkage in tunnel zichtbaar
Corbulatunnel	Onbekend	2x per jaar	5-jaarlijks	Onbekend	N.v.t.	2x per jaar



# Problematiek Westerscheldetunnel

*Rene Clarisse NV-Westerscheldetunnel / Evert Sonke Arcadis*



# Problematiek Westerscheldetunnel - Agenda

- Toelichting problematiek Westerscheldetunnel
- Bestaande monitoring
- Aanvullende monitoring
- Nut en Noodzaak monitoring Westerscheldetunnel
- Nadere info : <https://www.westerscheldetunnel.nl/nl/betonschade-westerscheldetunnel/>

maandag 29 januari 2024



# Problematiek Westerscheldetunnel - Toelichting

- 18-10-2023 afsluiting Oostbuis; actieve lekkage
- 20-12-2023 afsluiting Oostbuis; ingepland herstel

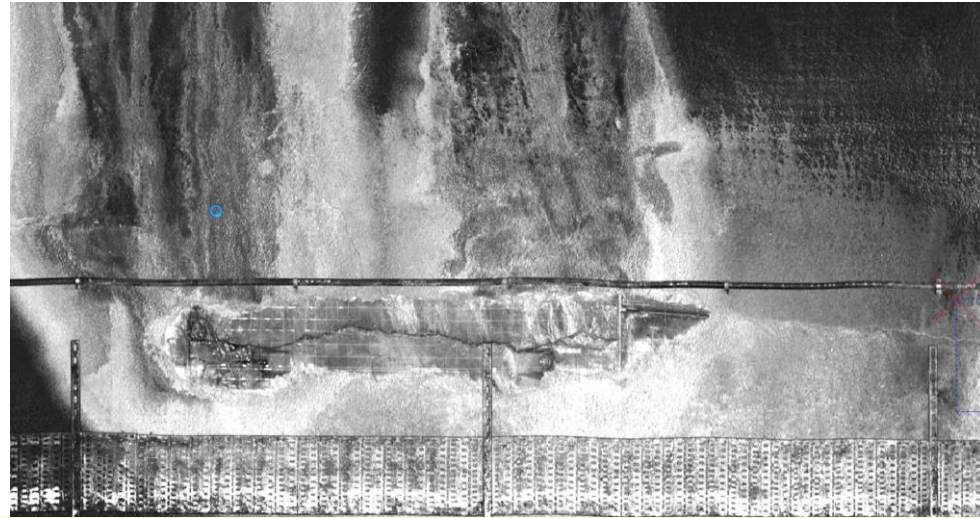


maandag 29 januari 2024



# Problematiek Westerscheldetunnel - Toelichting

- Nader onderzoek door het verwijderen van Fendolite
- Er wordt schade in een betonnen segment aangetroffen (ring 3297)
- Nader onderzoek laat verdere scheurvorming zien over een lengte van 15 ringen (30 meter)



# Problematiek Westerscheldetunnel – Bestaande monitoring

- As-built gegevens vanuit de bouw (monitoring boorproces)
- Tunnelscan Spacetec (5 jaarlijks); inspectie op profielverschillen, lekkages, profiel van vrije ruimte
- Deformatiemetingen (10 jaarlijks); thv de kritische doorsneden
- NEN 2767 inspecties (1 jaarlijks); lekkages, hittewerende bekleding
- Visuele inspecties (8 wekelijks); lekkages, hittewerende bekleding
- Lodingen (1 jaarlijks); dekking op de tunnel vanuit de Westerschelde
- Monitoring programma Nebest (1 jaarlijks); dmv sensoren lekkage gedrag voegen, (2 locaties), bepalen vochtfront, potentiaal verschilmeting (macrocelcorrosie), monitoren van actieve 15 actieve lekkage locaties en laagdikte metingen aan de hittewerende bekleding
- Lekwater registraties (wekelijks); lekwater wat via drainage in de kelder terecht komt

maandag 29 januari 2024

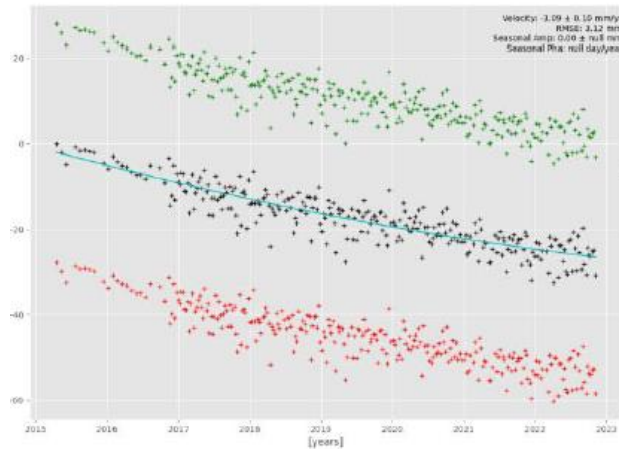
# Problematiek Westerscheldetunnel - Conclusie

- Acute oorzaak? NEE
- Zorgelijk? JA
- Expertteam



# Problematiek Westerscheldetunnel - Aanvullende monitoring

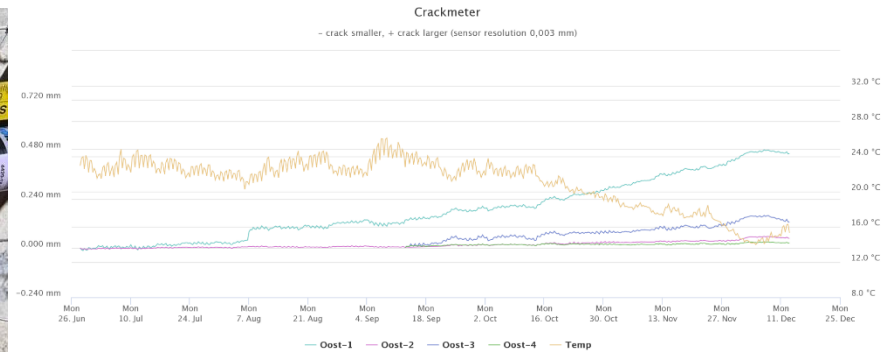
- Extra data – InSAR – Maaiveld zettingen van de laatste 8 jaar



# Problematiek Westerscheldetunnel - Aanvullende monitoring

- Extra monitoring

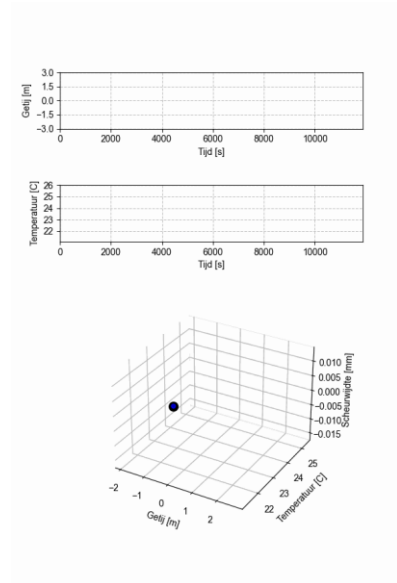
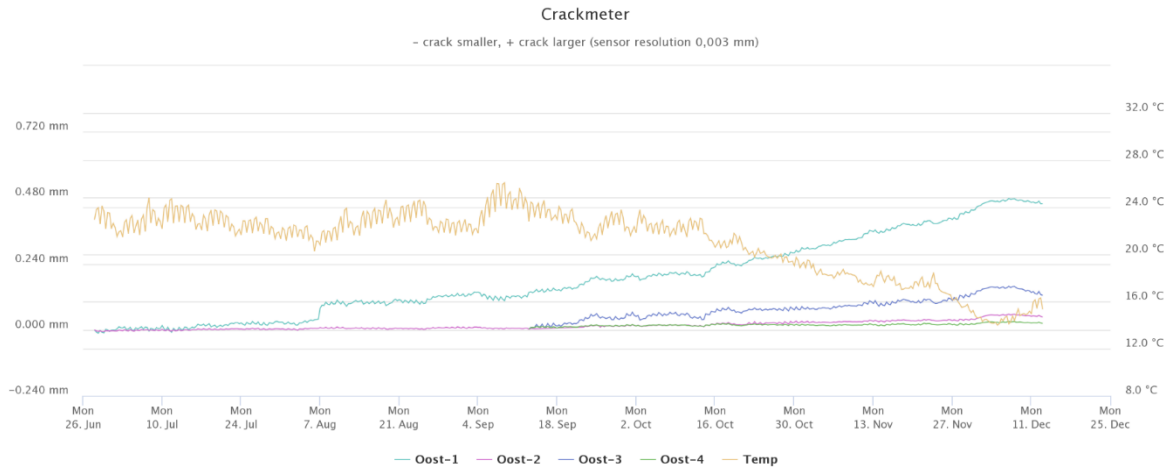
## 1) Scheurwijdte meters



maandag 29 januari 2024

# Problematiek Westerscheldetunnel - Aanvullende monitoring

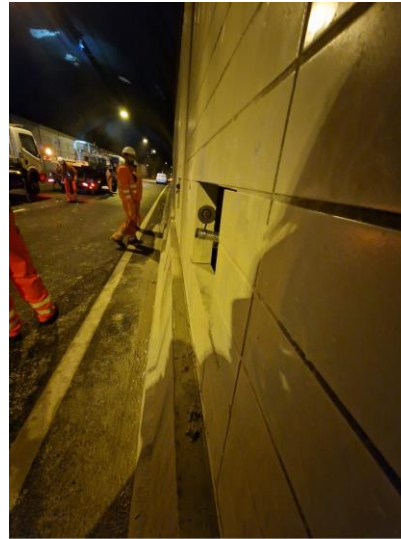
- Data; interpreteren



# Problematiek Westerscheldetunnel - Aanvullende monitoring

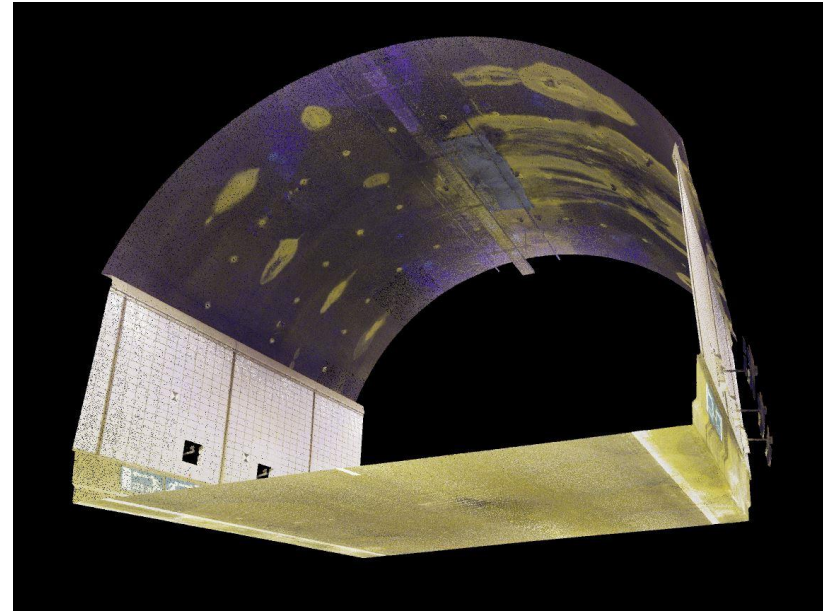
- Extra monitoring benodigd?

2) Prisma meting XYZ



# Problematiek Westerscheldetunnel - Aanvullende monitoring

- Extra monitoring benodigd?
- 3) Ovalisering – op basis van 3D Point Cloud laser scan

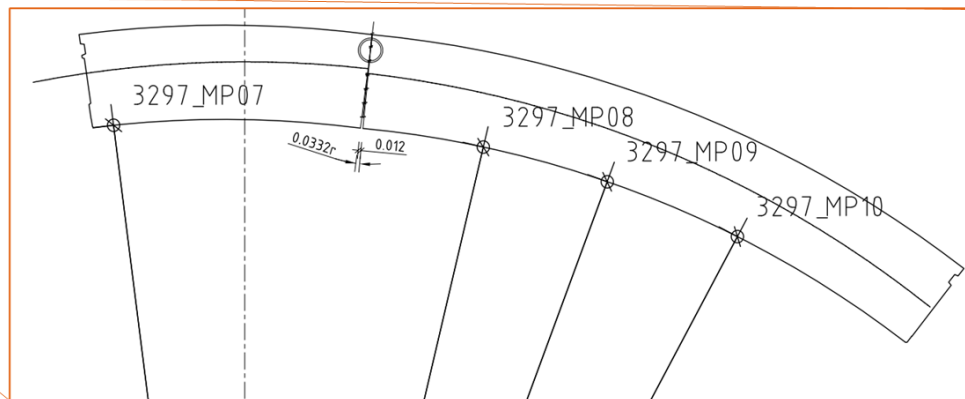
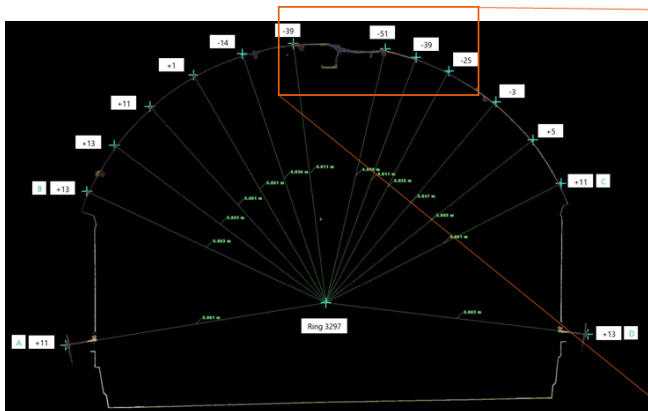


maandag 29 januari 2024



# Problematiek Westerscheldetunnel - Aanvullende monitoring

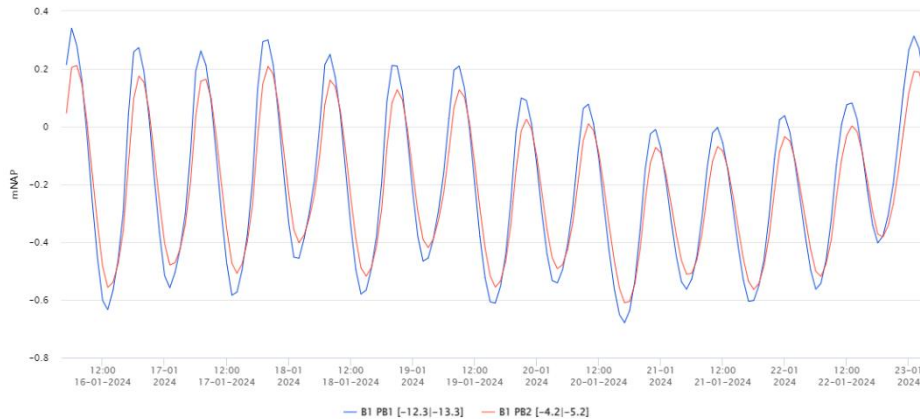
- Extra monitoring benodigd?
- 3) Ovalisering – op basis van 3D Point Cloud laser scan



# Problematiek Westerscheldetunnel - Aanvullende monitoring

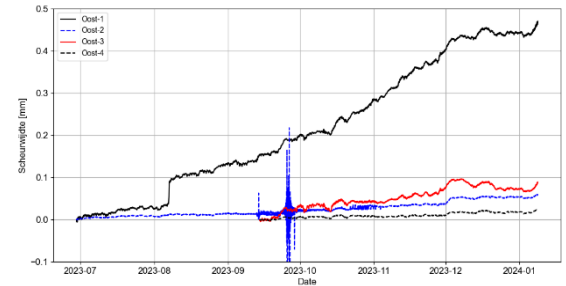
- Extra monitoring benodigd?

## 4) Peilbuizen met dataloggers



# Problematiek Westerscheldetunnel – Nut en noodzaak monitoring

- Inzicht via bestaande monitoring hielp acuutheid van de situatie beoordelen
- Inzicht via aanvullende monitoring gaf inzicht in het gedrag nodig om de oorzaak te kunnen begrijpen
- Voor interpretatie en begrip van gedrag is omgevingsdata ook relevant in monitoring
- Gedegen data analyse is nodig om alle data in relevante informatie om te zetten



# Kritieke doorsnedes boortunnelconstructie

*Joost Vervoort, Arthe Civil & Structure*

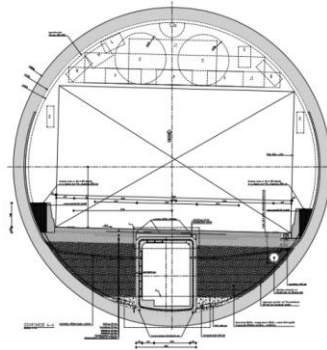


# Constructief gedrag boortunnels

- Monitoren van tunnels heeft een toegevoegde waarde als er kennis is van het constructief gedrag van tunnels en het daaraan gekoppelde specifieke vervormingsgedrag.
- Getracht om het constructief gedrag en faalmechanismes te koppelen aan deformaties van geboorde tunnels;
- Dit vormt de basis voor de ontwikkeling van monitoringsconcepten, waarmee het (vervormings-)gedrag kan worden gevolgd;
- Uitgangspunten:
  - Geboorde tunnels met betonnen tunnelsegmenten;
  - Dient inzicht te geven in geboorde tunnels voor beheer & onderhoud;
  - Dwarsverbindingen en effect op de tunnel dienen kort te worden beschouwd;
  - Degradatie van de tunnelconstructie valt buiten de scope

# Constructie principe

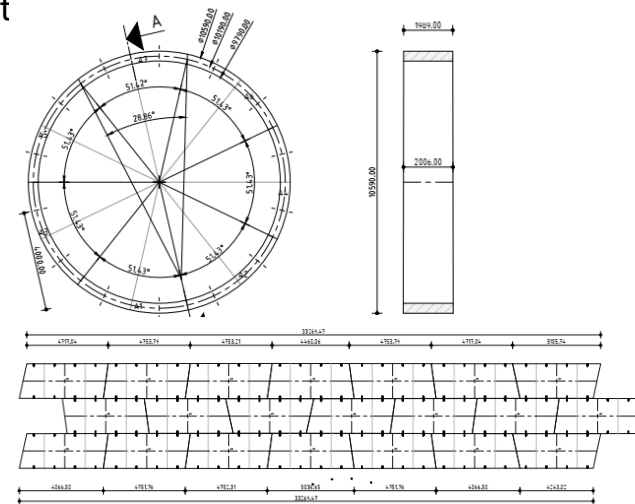
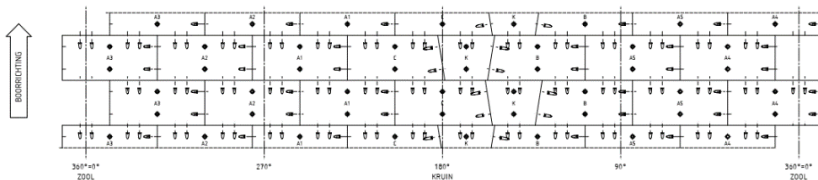
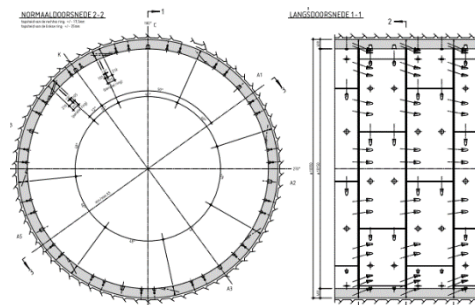
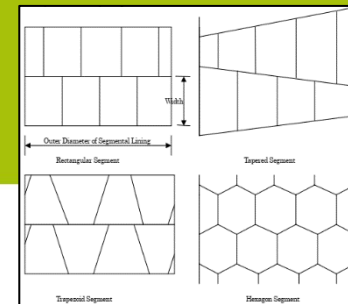
- Globale opbouw:
  - Startschacht;
  - Boorproces;
    - » Weggraven grond aan voorzijde van de TBM;
    - » Gelijktijdig plaatsen van segmenten in de ring (lining) in de TBM;
    - » Aan achterzijde TBM wordt overgebleven ruimte onder hoge druk opgevuld met grout.
  - Ontvangtschacht.



# Constructie principe

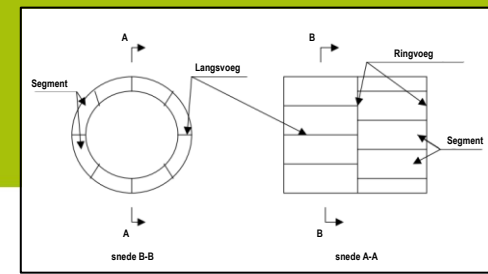
- Tunnelsegmenten:

- Bijv. rechthoekige, getaperde, trapzoid of hexagonaal;
- Door de ringen ten van elkaar te verspringen ontstaat er een 'halfsteensverband';
- Dit verband vergroot de samenwerking tussen de ringen;
- Afhankelijk van de diameter worden meer of minder segmenten toegepast;
- In NL is het 'Duitse' of het 'Franse ringsysteem toegepast



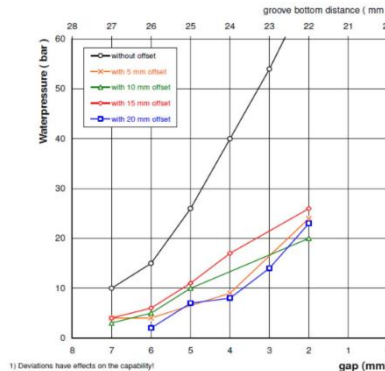
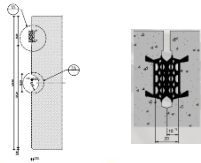
SEQUENCE FOR STRAIGHT ALIGNMENT DEVELOPED VIEW ON EXTRADOS  
SCALE 1:100

# Constructie principe

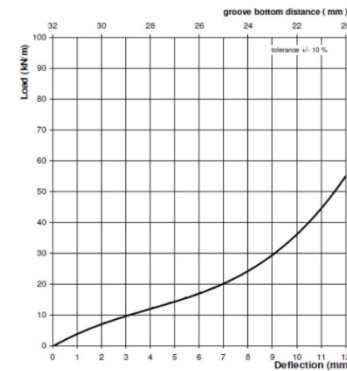


- Ring- en langsvoegen:

- Voegen in de ring zijn de langsvoegen en maken vervormingen in de ringrichting mogelijk met behoud van waterdichtheid en krachtsoverdracht;
- Voegen tussen de ringen zijn de ringvoegen en maken vervormingen tussen de ringen mogelijk;
- Correctheid van plaatsing heeft invloed op de waterdichtheid.

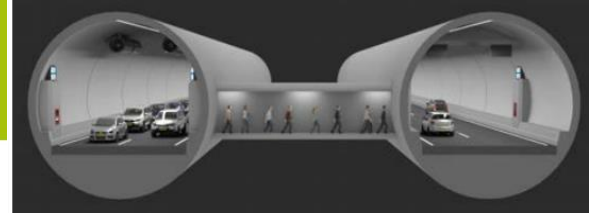


1) Deviations have effects on the capability!





# Constructie principe



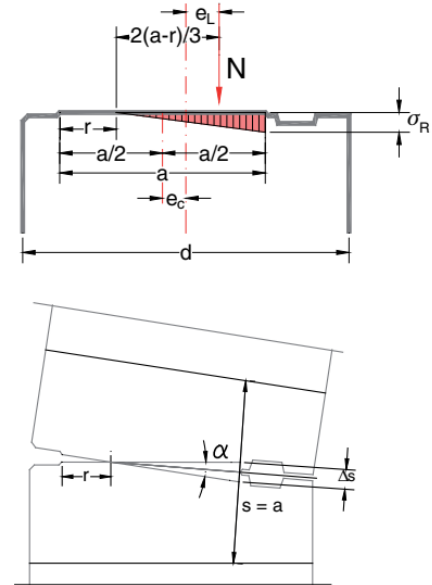
- Dwarsverbindingen:

- Vanwege veiligheidsfilosofie worden vaak twee tunnelbuizen
- De verbindingen hebben de functie om een vluchtmogelijkheid te bieden;
- In NL kan niet zonder meer tussen de buizen worden gegraven en zijn maatregelen nodig in de vorm van grondverbeteringen;
- Dit kan door het water te bevriezen of de ondergrond te vervangen door middle van bijv. Jet grouten te vervangen door een beter materiaal;
- De lining dient te worden opengebroken en voorziening in en/of buiten de lining dient te worden getroffen om de krachten om te leiden.



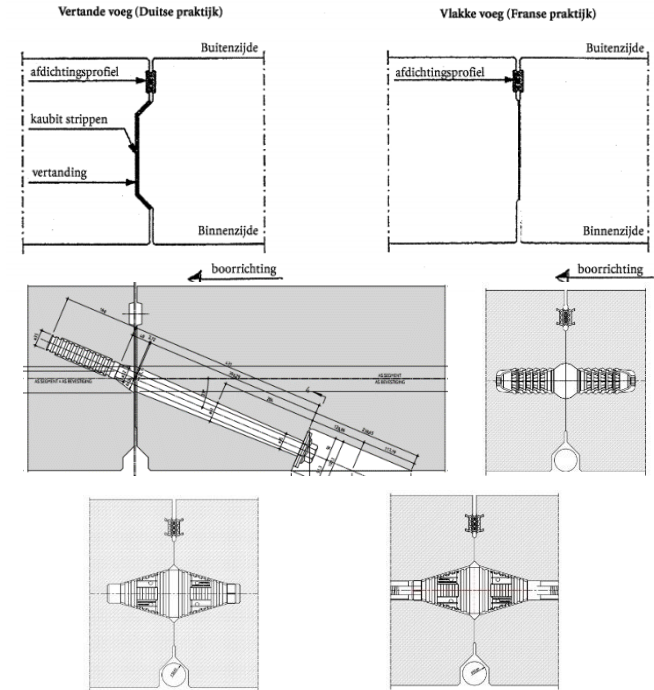
# Componenten constructief gedrag

- Krachtswerking in ringrichting:
  - De geboorde tunnel berust op een samenwerking van de lining en de omringende grond in de ringrichting;
  - In beginsel geen constructief verband tussen de segmenten, deze ontstaat in ringrichting door belasting grond en water;
  - De hierdoor veroorzaakte normaalkrachten drukken de voegen dicht en geven bij excentrisch aangrijpen ook een moment;
  - Daarnaast is ook de grondondersteunende werking van de grond van belang: de grondbedding.

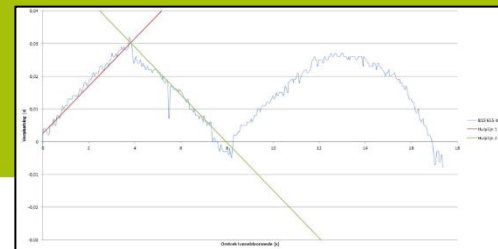


# Componenten constructief gedrag

- Krachtswerking in langsrichting:
  - In de langsrichting van de tunnel kan sprake zijn van een zettingsverschil in de grondlagen rondom de tunnel over een relatief korte afstand;
  - Afhankelijk van grootte van de axiale buigstijfheid van de tunnelbuis zal de tunnel de zetting min of meer volgen en zal de liggerwerking worden aangesproken;
  - De zettingsverschillen kunnen abrupt zijn ter plaatse van de overgang naar star-onderseundeconstructies, zoals schachten.



# Faalmechanismen



- Functieverlies: geleiden van verkeer:
  - Het Profiel van Vrije Ruimte (PVR) kan niet meer worden gegarandeerd;
  - Grote verplaatsingsverschillen (bijv. schacht – boortunnel);
  - (Overmatige) lekkages;
  - Betonschades van de lining, zoals afspringen betonschollen op (spoor-)wegdek;
  - Zettingen / vervormingen langstunnelas die kunnen zorgen tot afwijkingen op langsvlakheid of het absolute alignment.
- Functieverlies dragen van belastingen;
  - Primaire krachtwerking: constructie is veelal in de ringrichting is niet meer bestand tegen de grond- en waterdrukken of er is beddingverlies;
    - » O.a. Monitoren ovalisatie tunnelring / Monitoren segment (vervorming / hoekverdraaiing / toenemen scheurwijdte / lekkage / onderlinge verschuivingen / verplaatsingsverschillen tussen ringen)
  - Secundaire krachtwerking: lokaal is constructie veelal in de lengterichting niet bestand tegen de grond- en waterdrukken
    - » O.a. Monitoren chippen beton bij dwarskracht verbindingen in lengterichtingen / scheurvorming segmenten.

# Achtergrond informatie

- **Nauwkeurigheid:**

- Plaatsingsnauwkeurigheid;
- Fabricagetoleranties;

- **Schade-informatie:**

- **Bouwfase**

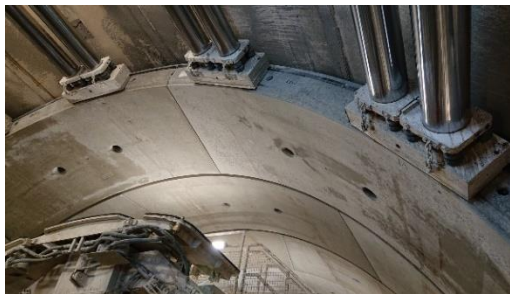
- » O.a. chippen /sheuren/ groutdrukken / boorfrontinstabiliteit / boorsnelheid / stuurcorrecties)/ lekkage / onderlinge verschuivingen / verplaatsingsverschillen tussen ringen)

- **Exploitatiefase**

- » O.a. scheuren /lekkage / corrosiesporen / afgedrukte dekking

- **Omgevingsparameters**

- » O.a. temperatuur in de tunnel / waterstanden en stijghoogtes / variatie in ondergrond.



# Voorbeelden monitoringslocaties

Voorbeelden locaties om te monitoren (ringrichting van de tunnel)	Indicatie metrerig vanaf schacht (m)	Ovalisatie	Deformaties + optioneel hoekverdraaiingen*	Scheuren
<b>Generieke locaties</b>				
Ondiepste deel tunnel start/einde, minste gronddekking	5 - 10	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde
Ondiepste deel tunnel start/einde, einde liggerwerking	50 - 100	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde
Ondiepste dwarsverbinding start/einde, weinig gronddekking	[-]	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant
Diepste dwarsverbinding, meeste gronddekking	[-]	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant
Diepste deel tunnel, meeste gronddekking	[-]	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde
<b>Specifieke locaties</b>				
Grondgesteldheid: diepste deel tunnel in slappe lagen	[-]	Bovenzijde	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant
Specifieke lokale permanente belasting: groot gebouw (> 5 lagen, > 50 kN/m <sup>2</sup> ) direct naast of boven de tunnel	[-]	Bovenzijde	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant
Schade-informatie: boorfrontinstabiliteit tijdens bouwfase	[-]	Bovenzijde	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant
Schade-informatie: meest elementaire schadepunten uit de bouwfase	[-]	Bovenzijde	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant
Schade-informatie: meest elementaire schadepunten uit de exploitatiefase	[-]	Bovenzijde	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant
Toekomstvastheid ontgravingen (> 2 m)	[-]	Bovenzijde	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant
Toekomstvastheid bebouwing/ophoging (> 2 lagen, > 20 kN/m <sup>2</sup> )	[-]	Bovenzijde	Bovenzijde zijkant	Bovenzijde zijkant

\* Hoekverdraaiingsmetingen worden in principe alleen (lokaal) uitgevoerd indien de deformatiemetingen hiertoe aanleiding geven. Deze metingen moeten derhalve gezien worden als een optionele verdiepingsslag op de deformatiemeting.

# Monitoring

*Peter Nelemans Fugro*



# Type monitoringsystemen

De wijze van monitoren, de locatie en frequentie is sterk afhankelijk van de levensfase van de boortunnel en het wel/niet aanwezig zijn van schades of problemen. Globaal onderscheiden we verschillende monitoringsystemen tijdens:

- De bouwfase / boorproces
- De afbouw-/ opleveringsfase
- De exploitatiefase

Voor inzicht in het gedrag van boortunnels op lange termijn is de beschikbaarheid van consistente informatie uit alle fasen essentieel.



# Monitoren tijdens de bouwfase

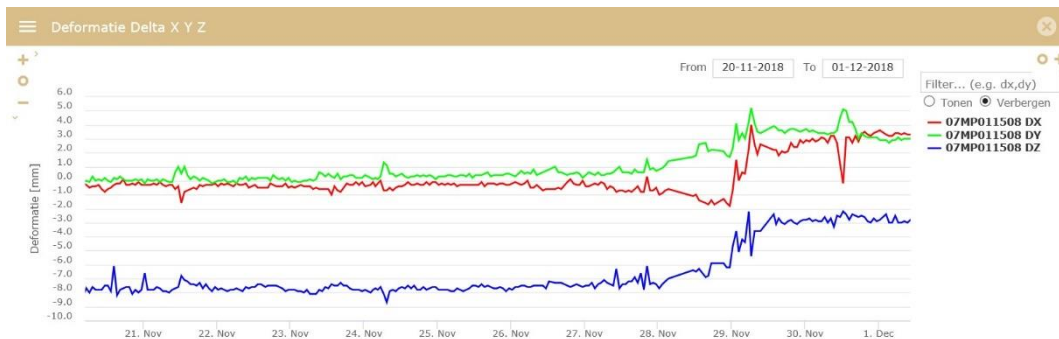
## Monitoringsystemen tijdens het boorproces / de bouwfase

- TBM-gerelateerde metingen die met name het boor- en installatieproces vastleggen. De grout- en persdrukken zijn belangrijke parameters.
- Proefveld nabij de startschacht om het gebruik van de steunvloeistof te optimaliseren.
- Maaiveldzettingen, gronddrukken, waterspanningsmeters.
- Omgevingsmonitoring (deformatiemetingen in x-, y- en z-richting, scheefstandmetingen).
- Stijghoogte en grondwaterstanden.
- Lokale schades tijdens de ringbouw.

# Monitoren tijdens de bouwfase - voorbeelden



Overzicht monitoringlocaties proefveld



Resultaten deformatiemonitoring in proefveld

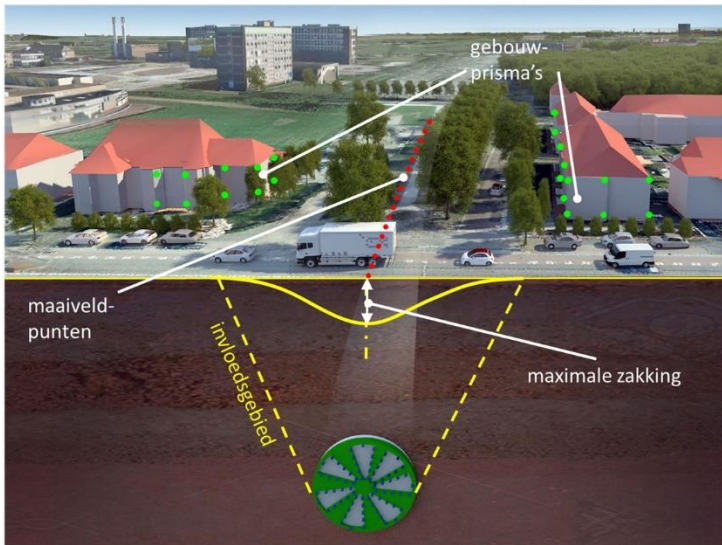


Gronddrukcel



Piezometer

# Monitoren tijdens de bouwphase - voorbeelden



*Principe omgevingsmonitoring*



*Robotic  
Total Station*



*Prisma*

# Monitoren tijdens de afbouw- / opleveringsfase

**In deze fase worden de volgende metingen uitgevoerd:**

- Deformatiemetingen (langsrichting van de tunnel).
- Rondheidsmetingen (vaststelling ovalisatie).
- Visuele inspecties.

Deze metingen vormen de nulmeting en zijn de referentie van metingen die in de exploitatiefase worden uitgevoerd.

# Monitoren tijdens de oplevering (voorbeeld locaties deformatiemetingen)

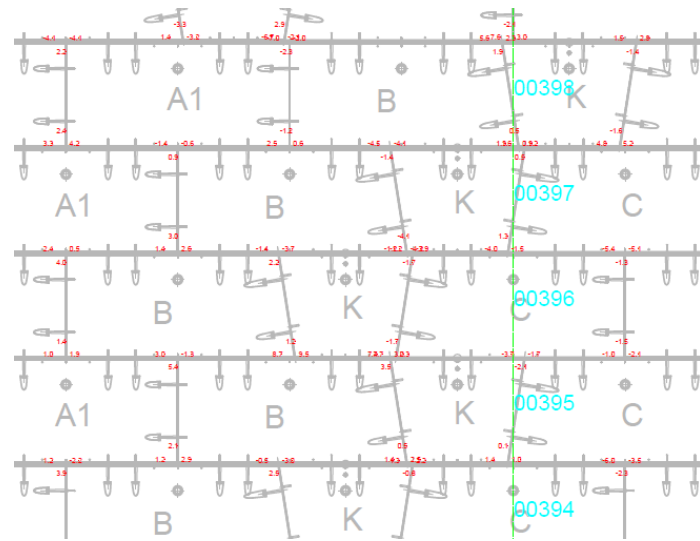
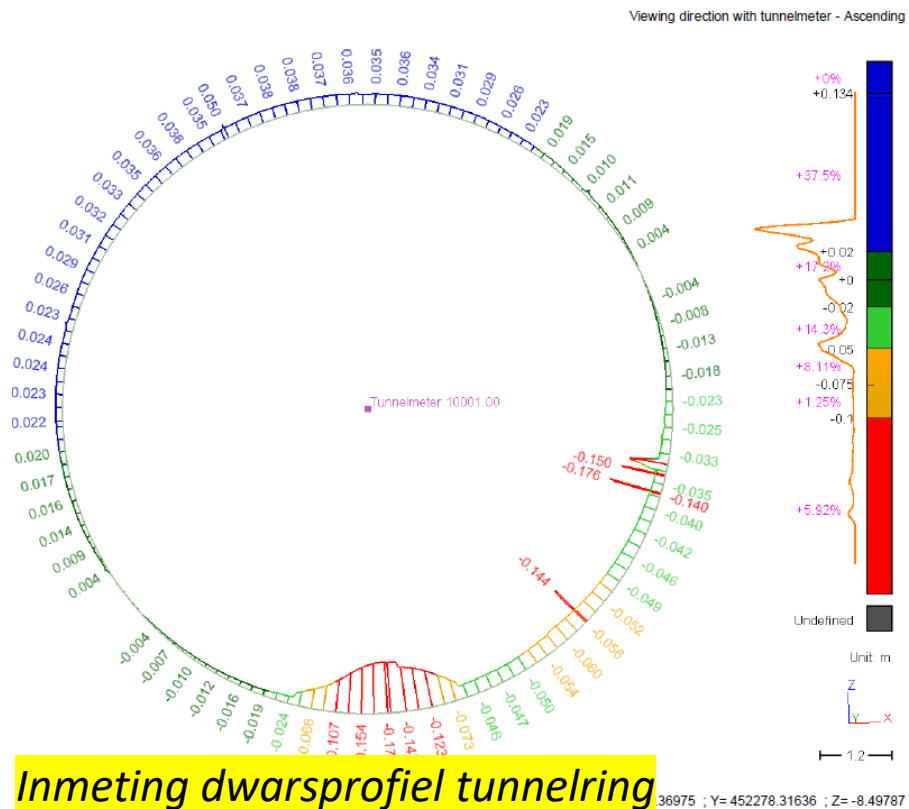


Locatie punten bij dwarsverbindingen



Principe punten thv repairzone

# Monitoren tijdens de oplevering (voorbeelden)



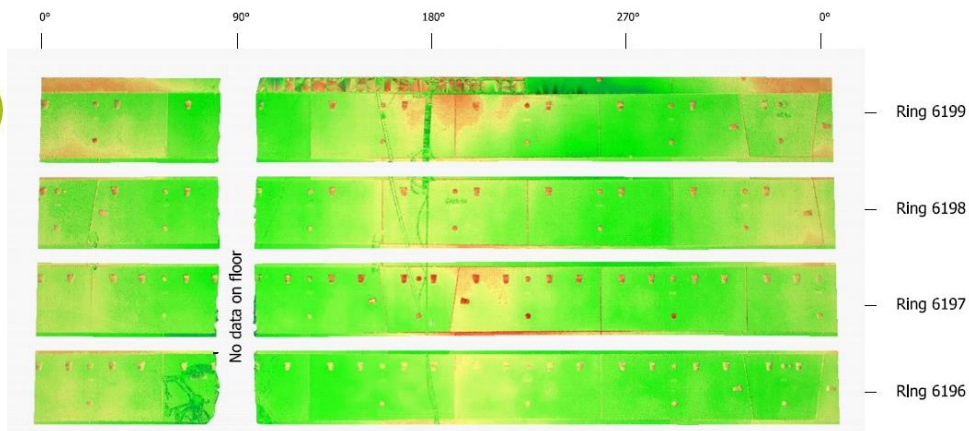
Detail van inmeting offset ring- en dwarsvoegen tunnelringen

# Monitoren tijdens de exploitatiefase

## Monitoringsystemen tijdens de exploitatiefase

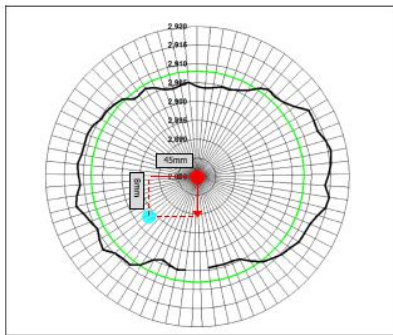
- Rondheidsmetingen (traditioneel en met 3D-laserscanning)
- Deformatiemetingen
- Voegmetingen
- Getijdedata, stijghoogte en grondwaterstanden (vervolgmetingen)
- Debietmetingen (t.b.v. waterlekage)
- Lokale inspecties / monitoring schades en voeglekkages tunnelelementen

# Monitoren tijdens de exploitatiefase (voorbeelden)



*Rondheidsmetingen  
m.b.v. 3D-  
laserscanning*

Onrondheid Ring 6199

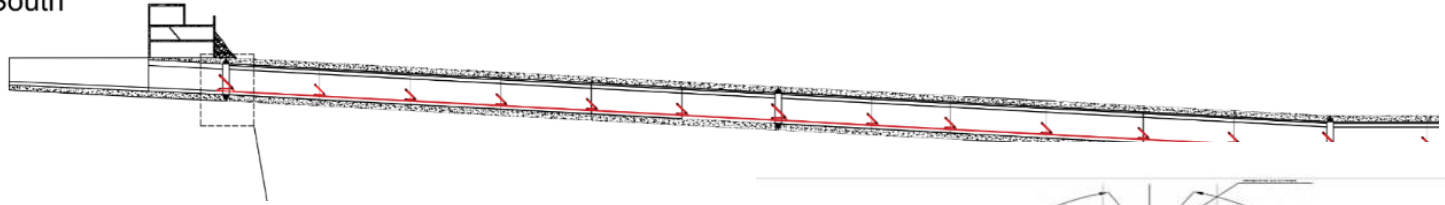


*3D-voegmeter*

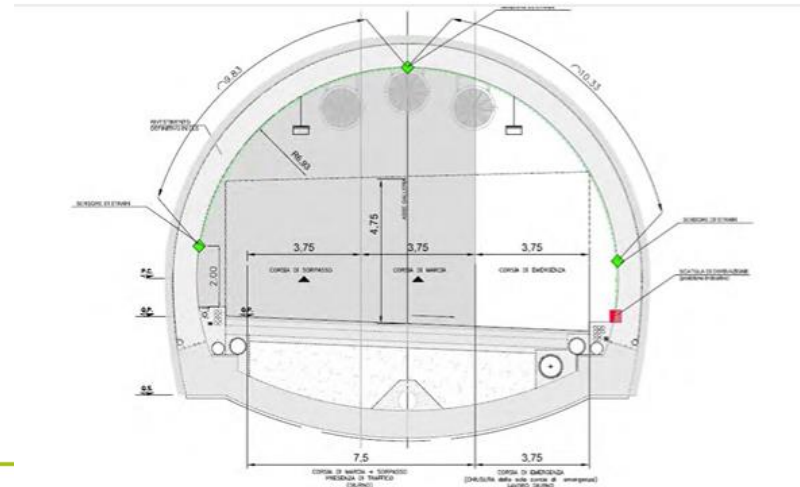


# Monitoren tijdens de exploitatiefase (voorbeelden)

South



**Glasvezelmonitoring**



**Measure of deformation  
and load bearing structure of the tunnel.**

# Monitoringsplan

In de werkwijzer is een overzicht opgenomen van de op dit moment uitgevoerde inspecties en monitoring (tabel 3.1).

**Conclusie: er is onvoldoende uniformiteit in aanpak zichtbaar**

Tunnel:	NEN 2767 inspecties	Visuele inspectie op schade en lekkage	Deformatiemetingen	Tunnelscan / PVR	Dekking op de tunnel (scheepvaart)	Lekwater debietmetingen
2e Heinenoordtunnel	-	-	-	-	-	-
Botlekspoortunnel	5 jaarlijks	1 jaarlijks	Gestopt in 2022	-	-	Moet nog worden ingeregeld
Tunnel Pannerdensch kanaal	5 jaarlijks	1 jaarlijks	In 2022 deformatiemeing aangebracht voor aanleg A15	2015 en 2018 voor het laatst	Opdrijfanalyse in 2020 uitgevoerd	Moet nog worden ingeregeld
Sofia spoortunnel	5 jaarlijks	1 jaarlijks	Nee	-	-	Moet nog worden ingeregeld
Statentunnel R'dam	onbekend	onbekend	onbekend	onbekend	onbekend	onbekend
Hubertustunnel	3 jaarlijks en bij einde onderhoudscontract.	Is onderdeel van NEN 2767.	Bij bouwwerkzaamheden binnen het invloedsgebied van de tunnel.	Na vervanging van objecten in de tunnelbuizen.	Geen scheepvaart.	Nee. In de noordbuis, t.p.v. Hubertusduinzijde, minimale lekkage na hevige regenperiode.
Westerscheldetunnel	1 jaarlijks (met name hittewerende bekleding)	- 8 wekelijks (generiek); - 1 jaarlijks macrogel corrosie (corrosieproces wapening) oostbuis	10 jaarlijks	5 jaarlijks	1 jaarlijks	- wekelijks debietmetingen - zeer lokaal 1 jaarlijkse meting middels sensoren om lekkage te meten;

# Stappenplan totstandkoming monitoringsplan

In de werkwijzer is een aanzet gegeven voor een basis monitoringsplan, dat op basis van vastgestelde risico's kan worden uitgebreid (Stappenplan).

## *STAP 1: ONTWERPTECHNISCHE ANALYSE MEEST KRITIEKE TUNNELDOORSNEDES IN LENGTEPROFIEL:*

→ welke plaatsen in het lengteprofiel zijn het meest kritisch voor bijvoorbeeld verschilzettingen na ingebruikname.

## *STAP 2: ANALYSE CONDITIE VAN DE TUNNEL OP BASIS VAN INFORMATIE OPLEVERDOSSIER:*

→ focus op problemen tijdens het boorproces, schades, trends

# Stappenplan totstandkoming monitoringsplan (2)

*STAP 3: PER DOORSNEDE: VASTSTELLEN MOGELIJKE FAALMECHANISMEN EN OORZAAK:*

→ denk aan overgangen tussen schachten en boortunnel, dwarsverbindingen, overgangen tussen slappe en hardere bodemlagen.

*STAP 4: VASTSTELLEN MONITORINGSSYSTEMEN EN -FREQUENTIES*

→ zie tabel 3.2 *“leidraad meetfrequenties voor diverse typen van monitoring.*

*STAP 5: VASTSTELLEN ACCEPTATIECRITERIA VAN MEETRESULTATEN*

→ Deze waarden dienen door de ontwerpverantwoordelijke van de tunnel te worden vastgesteld.

# Monitoring Exploitatiefase

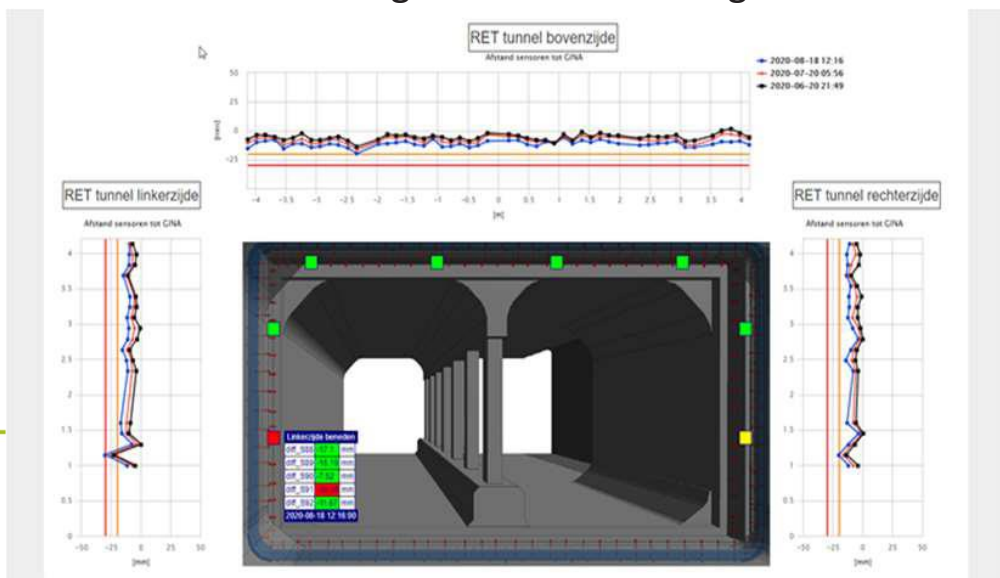
In Bijlage C van de Werkwijzer is een Template / voorbeeld van een meetrapport in de exploitatiefase opgenomen

maandag 29 januari 2024



# Monitoringsplatform - dataverwerking

Meestal is de data via gateways (near) real-time inzichtelijk via webplatforms, waarbij de geïnterpreteerde resultaten worden gevisualiseerd. Dit soort oplossingen helpt de gebruiker om snel een goed overzicht te krijgen van het vervormingsgedrag van een tunnel. Door middel van kleuren van de diverse sensoren (**stoplicht-methode**) kan in één oogopslag worden gezien waar de vervormingen de toelaatbare grenzen overschrijden.



# Monitoringsplatform - dataverwerking

Duidelijke richtlijnen voor de opslag en uitwisseling van data zijn van belang.

- Het kunnen exporteren van data naar bijvoorbeeld rekenprogramma's of een dashboard.
- Alle data moet gekoppeld kunnen worden en bewerkbaar te zijn. Dit geldt ook voor bijvoorbeeld weer- en getijdedata.
- Gelet moet worden op een eenduidige tijdreferentie voor alle verzamelde meetdata; alleen dan is een goede duiding van data mogelijk.
- Gebruikers en beheerders moeten via een beveiligd account de beschikking krijgen over de meetdata. Per gebruiker moet geregeld worden tot welke meetdata toegang wordt gegeven.

# Conclusies, aanbevelingen en vervolg

*Arjan van der Put APUT*





# Stappenplan

Toepassen van het stappenplan voor bepaling monitoringsysteem om:

- beheerst, voorspelbaar en tijdig de civieltechnische scope te kunnen bepalen bij toekomstige grootschalige tunnelrenovaties
- calamiteitsituaties en/of onevenredig dure reparatiekosten tijdens de exploitatiefase te voorkomen
- inzicht te krijgen in het gedrag van boortunnels op de lange termijn door monitoringsresultaten van de diverse boortunnels onderling met elkaar te kunnen vergelijken

# Referentiekader

- In de aanbesteding eisen stellen aan overdracht van berekeningen, tekeningen en monitoringsdata in zowel de bouw- als exploitatiefase
- Monitoringsysteem van boortunnels opstellen conform het stappenplan uit de werkwijzer

maandag 29 januari 2024



# Aanbevelingen

- doen van een proefproject om het stappenplan tbv opstellen monitoringsysteem te testen
- uitvoeren van een standaard set aan monitoring voor iedere boortunnel in Nederland
- uniformeren van dataverwerking van boortunnels zodat data van verschillende tunnels met elkaar zijn te vergelijken
- alle beschikbare monitoringinformatie voor boortunnels in Nederland centraal archiveren en onderhouden.

# Vervolg

2024

- Monitoringsplan opstellen voor Corbulotunnel als pilot en eventueel aanscherpen werkwijzer

2024-toekomst

- Tunnelbeheerders vragen om monitoringsresultaten uit te wisselen
- Binnen COB opslaan en analyseren monitoringsdata
- Conclusies analyses uitwisselen

maandag 29 januari 2024





# Vragen?

